

## Resumen

El objetivo del presente proyecto es realizar el estudio de la reforma energética de un edificio de viviendas, proponiendo mejoras concretas y analizando su viabilidad técnica, económica y ambiental.

Con dicho propósito, se ha tenido en cuenta la evaluación energética del edificio, donde se caracteriza la demanda de calefacción, refrigeración y ACS además de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Dicha evaluación se realiza mediante el software CE3X, reconocido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y se obtiene una clasificación correspondiente a la letra “F”, disponiendo, por lo tanto, de muchas posibilidades de mejora. Por otra parte, también se han tenido en cuenta las demandas de referencia establecidas por documentos oficiales como el *Código Técnico de la Edificación* o el *Decreto de Ecoeficiencia*.

Para llevar a cabo la mejora del rendimiento energético del edificio, se plantea la instalación de bombas de calor de aerotermia en cada piso y la incorporación de una instalación de energía solar térmica o energía solar fotovoltaica como apoyo a dichas bombas. Por otro lado también se estudia la incorporación de una instalación solar fotovoltaica para cubrir la demanda de porteros automáticos, antena de televisión y luminaria común del edificio.

Realizando la comparación entre una instalación solar térmica y una instalación solar fotovoltaica, se llega a la conclusión de que es más viable realizar la segunda opción debido a la naturaleza de la energía producida, lo que hace más fácil su reaprovechamiento para otros fines.

Una vez diseñadas dichas reformas e instalaciones, se ha llevado a cabo un análisis técnico de los resultados, un estudio de viabilidad económica y uno de viabilidad medioambiental.



# Índice

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>3</b>
<b>1. PREFACIO</b>	<b>7</b>
1.1. Motivación .....	7
1.2. Objeto .....	7
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
2.1. Objetivos del proyecto.....	9
2.2. Alcance del proyecto.....	9
2.3. Estado del arte .....	9
<b>3. UE: DIRECTIVAS DE CAMBIO</b>	<b>11</b>
3.1. Directiva 93/76/CEE .....	11
3.2. Directiva 2002/91/CE .....	11
3.3. Directiva 2010/31/UE .....	12
3.3.1. Requisitos de eficiencia energética .....	12
3.3.2. Edificios de Consumo Energético Casi Nulo .....	12
3.4. Directiva 2012/27/UE .....	13
<b>4. ADOPCIÓN DE LAS DIRECTIVAS POR PARTE DE ESPAÑA</b>	<b>15</b>
4.1. Certificación energética.....	15
4.2. Edificios de consumo energético casi nulo .....	15
<b>5. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO Y VIVIENDAS</b>	<b>17</b>
5.1. Introducción .....	17
5.2. Datos generales del edificio y viviendas .....	18
5.3. Datos técnicos del edificio y viviendas.....	19
5.3.1. Cubierta .....	19
5.3.2. Muros exteriores .....	20
5.3.3. Vidrios.....	20
5.3.4. Suelos.....	21

5.3.5. Instalaciones.....	22
5.4. Calificación energética del edificio .....	22
<b>6. DISEÑO DE LAS SOLUCIONES DE MEJORA .....</b>	<b>25</b>
6.1. Introducción .....	25
6.1.1. ¿Qué es la energía solar fotovoltaica? .....	26
6.1.2. ¿Qué es la energía solar térmica? .....	27
6.1.3. ¿Qué es la energía aerotérmica? .....	28
6.2. Diseño de las bombas de calor de aerotermia.....	30
6.3. Diseño de la instalación solar fotovoltaica .....	32
6.3.1. Sistema de captación .....	32
6.3.2. Sistema de transformación.....	33
6.3.3. Sistema de distribución.....	34
6.3.4. Protecciones .....	35
6.3.5. Monitorización.....	35
6.4. Diseño de la instalación solar fotovoltaica para consumos comunitarios ...	36
6.4.1. Energía eléctrica necesaria .....	36
6.4.2. Sistema de captación .....	36
6.4.3. Sistema de acumulación.....	38
6.4.4. Regulador .....	39
6.4.5. Sistema de transformación.....	40
6.4.6. Sistema de distribución.....	40
6.4.7. Protecciones .....	41
<b>7. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE MEJORA .....</b>	<b>43</b>
7.1. Análisis técnico .....	43
7.1.1. Evaluación energética resultante.....	43
7.1.2. Análisis técnico realista.....	45
7.2. Análisis económico .....	49
7.2.1. Presupuesto de la instalación solar fotovoltaica para consumos comunes.....	49
7.2.2. Presupuesto de la instalación de bombas de calor de aerotermia con apoyo de solar fotovoltaica.....	50
7.2.3. Subvenciones .....	51
7.2.4. Análisis económico final .....	52
7.2.5. Análisis de viabilidad económica .....	53

7.2.6. Mantenimiento .....	54
7.3. Análisis medioambiental .....	55
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>59</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>63</b>
Referencias bibliográficas .....	63
Bibliografía complementaria .....	64
<b>ANEXOS</b> .....	<b>65</b>



# 1. Prefacio

## 1.1. Motivación

Actualmente, gracias a la cantidad de información de la que se dispone y su fácil acceso, la concienciación sobre cuestiones medioambientales empieza a llegar a la gente de a pie. Desgraciadamente, el pensamiento que predomina es el de la desilusión, según el cual sin poder, influencias o una gran inversión es imposible mejorar la situación de forma notable.

Este trabajo, en parte, es para devolver la ilusión y demostrar que no son necesarias grandes inversiones ni construcciones, cualquier aportación, por pequeña que sea, ayuda a hacer cada vez más sostenible nuestro planeta. Por otra parte, cada vez es más necesaria la rehabilitación del máximo de edificios posibles para hacer de este planeta que se extingue un planeta sostenible y habitable.

Existen razones económicas para decidir adoptar medidas de mejora de la eficiencia energética en el edificio, pero además del beneficio económico, también se obtienen beneficios ambientales para el país y para el planeta, así como beneficios sociales, a veces intangibles. Debe tenerse en cuenta que detrás de una mejor calificación de eficiencia energética hay viviendas mejor aisladas, más habitables, en las que es posible mantener una temperatura adecuada, tanto en invierno como en verano, con un menor consumo de energía y en las que, en definitiva, la calidad de vida es mayor, evitándose situaciones de vulnerabilidad o riesgo como la pobreza energética.

## 1.2. Objeto

Para realizar este proyecto se ha escogido un edificio de 17 viviendas situado en la ciudad catalana de Sant Boi de Llobregat. Por una parte, se ha considerado que sería interesante reformar un edificio de tal magnitud debido a la importancia de la mejora de su eficiencia total. Por otra parte, se ha decidido realizar el estudio de dicho emplazamiento debido a la facilidad para recaudar la información necesaria. Se pretende llevar a cabo dicha reforma del edificio a través de instalaciones de fuentes de energía renovables así como posibles reestructuraciones con el fin de mejorar la calidad del ambiente interior.





## **2. Introducción**

### **2.1. Objetivos del proyecto**

El objetivo principal del presente proyecto es realizar un estudio de la reforma de un edificio de viviendas con el fin de mejorar aspectos como la eficiencia energética, la eficiencia en el uso del agua y la calidad del ambiente interior de las viviendas. De esta manera se mejora la calidad de vida en las viviendas y se consigue hacer un mundo más sostenible.

### **2.2. Alcance del proyecto**

Con el fin de alcanzar el objetivo principal, es necesario realizar un análisis energético de la situación actual del edificio y el diseño de las posibles soluciones para mejorar dicha situación. El análisis energético del edificio se realiza mediante un procedimiento simplificado para la certificación energética de edificios existentes, más concretamente a través del software CE<sup>3</sup>X.

Los resultados obtenidos por el programa constituyen la base para el cálculo de las posibles soluciones que se plantean. Finalmente, el estudio se complementa con un análisis de la viabilidad técnica y económica de la solución elegida.

### **2.3. Estado del arte**

En el año 2014 ha habido una explosión de edificios de consumo de energía casi nulo al pasar de 11 inmuebles en 2013 a 103. El 80% son viviendas, principalmente unifamiliares. Pero también hay oficinas, hoteles y edificios dotacionales, como colegios, bibliotecas o polideportivos. El presente y futuro del sector inmobiliario pasa por la edificación eficiente.

Lo más peculiar es que por primera vez hay ejemplos de dichos edificios en toda la geografía española. Hay tres grandes núcleos, Cataluña, que fue la primera comunidad en albergar un edificio de estas características, País Vasco y la comunidad de Madrid.



### **3. UE: Directivas de cambio**

La Directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD: Energy Performance of Buildings Directive) es la principal norma europea dirigida a garantizar el cumplimiento de los objetivos de la UE, respecto a la edificación, en lo referente a contención de emisiones de gases de efecto invernadero, del consumo energético y eficiencia energética y de generación de energía a partir de fuentes renovables.

#### **3.1. Directiva 93/76/CEE**

La "Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética" [1] consiste en una lista de acciones que los Estados Miembros deberían emprender para mejorar la eficiencia energética en edificios y, con ello, reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

El propio texto reconoce en sus considerandos que el tratado no confiere poderes para legislar en este campo, con lo que no establece verdaderas obligaciones. Contempla algunos programas como la certificación energética de edificios, el aislamiento térmico de los edificios nuevos y la inspección periódica de calderas.

#### **3.2. Directiva 2002/91/CE**

Entró en vigor el 4 de enero de 2003 y tuvo que ser aplicada por los Estados miembros de la Unión Europea, a más tardar el 4 de enero de 2006. Fue inspirada por el Protocolo de Kyoto, que compromete a la Unión Europea para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 8% en 2010, al 5,2% por debajo de los niveles de 1990. [2]

Para lograr una mejora en la eficiencia energética del parque edificado, la Directiva se apoya en tres herramientas concretas: el establecimiento de requisitos de uso de la energía en edificios nuevos y existentes que lleven a cabo grandes obras de renovación, la introducción de certificados de eficiencia energética y las inspecciones de sistemas de climatización de tamaño medio y grande.

La directiva entró en vigor el 4 de enero de 2006 y exige a los Estados miembros cumplir con el artículo 7 (Certificados de Eficiencia energética), el artículo 8 (Inspección de calderas) y el artículo 9 (Inspección de los sistemas de aire acondicionado) dentro de los tres años siguientes a la fecha de inicio, siendo 4 enero de 2009 el plazo.

### **3.3. Directiva 2010/31/UE**

#### **3.3.1. Requisitos de eficiencia energética**

El desarrollo de los métodos de cálculo de la eficiencia energética y el establecimiento de los requisitos sobre los edificios siguen en manos de los Estados Miembros. Ahora se introduce un método adicional que permite calcular aquellos requisitos sobre los edificios que representarían el óptimo desde el punto de vista de la rentabilidad económica, y compararlos con los que cada Estado Miembro tiene en vigor. Si el desvío es muy importante, superior al 15%, el Estado en cuestión ha de justificarlo ante la Comisión o presentar un plan para corregirlo. Se trata pues, de poner en evidencia las aproximaciones nacionales más laxas y de marcar una pauta para su convergencia, sin necesidad de que sea la Comisión Europea la que directamente imponga los requisitos de eficiencia energética en los edificios de cada Estado Miembro.

La Directiva establecía como límite para la publicación de dicho marco por parte de la Comisión Europea, el 30 de junio de 2011, aunque no fue hasta el 16 de enero de 2012 cuando estuvo disponible el Reglamento Delegado correspondiente. Los Estados Miembros disponían hasta el 30 de junio de 2012 para comunicar a la Comisión los resultados de estos análisis. [3]

#### **3.3.2. Edificios de Consumo Energético Casi Nulo**

La Directiva introduce este nuevo concepto como aquel edificio “[...] con un nivel de eficiencia energética muy alto [...]. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno” y establece sendas fechas, el 31 de Diciembre de 2018 y de 2020, para su aplicación a todos los nuevos edificios propiedad y ocupados por autoridades públicas, y para todos los edificios nuevos, respectivamente.

Podríamos considerar que la definición del Edificio de Consumo Energético Casi Nulo, equivale al requisito de eficiencia energética deseable para el año 2020, al requisito de "niveles mínimos de energía procedentes de fuentes renovables en edificios nuevos" para ese mismo año y a un tercer requisito sobre cercanía de captación de esos recursos renovables al punto de consumo. Como ocurre en la actualidad con dichos requisitos, cada Estado Miembro es responsable de su concreción, si bien en este caso se exige al menos "un valor de uso de energía primaria expresado en kWh/m<sup>2</sup> por año".

Desde esta perspectiva, y como cualquiera de los niveles de exigencia que se vayan estableciendo hasta esa fecha, el de 2020 estará sometido al análisis de rentabilidad tratado antes. Por tanto, cada Estado Miembro debe, por una parte, definir un objetivo (su definición de Edificio de Consumo Energético Casi Nulo), y actuar sobre el mercado para que en 2020, dicha meta preestablecida, resulte rentable desde el punto de vista de la metodología de coste óptimo.

### **3.4. Directiva 2012/27/UE**

La Directiva de Eficiencia Energética tiene como objetivo la creación de un marco común de medidas para el fomento de la Eficiencia Energética que permitan asegurar que los países de la Unión Europea conseguirán el 20% de ahorro energético ya comprometido con anterioridad, además la directiva obliga a los Estados Miembros a una renovación de al menos el 3% de los edificios públicos de más de quinientos metros cuadrados. [4]



## **4. Adopción de las directivas por parte de España**

En España, la Directiva se traspone a través en el Documento Básico Ahorro de Energía (HE) del Código Técnico de la Edificación [5], el Reglamento de Instalaciones Técnicas en los Edificios (RITE) [6], y también por la Ley de Economía Sostenible.

### **4.1. Certificación energética**

España aplicó la EPBD 2002 en lo relativo a certificación de edificios nuevos con el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

En noviembre de 2011 la Comisión Europea llevó al Tribunal Europeo de Justicia la inexistencia en España de regulación para la certificación de edificios existentes, y una serie de defectos de aplicación de la Directiva respecto a las inspecciones en calderas.

Superado ampliamente el plazo de trasposición, se publicó finalmente el Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

### **4.2. Edificios de consumo energético casi nulo**

La trasposición de la obligación de que todos los edificios construidos desde el 31 de diciembre de 2020 (2018 para los ocupados y de titularidad pública) sean edificios de consumo de energía casi nulo, y la determinación de que los requisitos a satisfacer serán los que en ese momento determine el Código Técnico de la Edificación, se realizó a través de la Disposición Adicional Segunda del Real Decreto 235/2013 (Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios).





## 5. Evaluación energética del edificio y viviendas

### 5.1. Introducción

La calificación de eficiencia energética es un procedimiento técnico de cálculo para determinar el consumo anual de energía necesario para satisfacer la demanda energética de un edificio en condiciones normales de ocupación y funcionamiento, así como para determinar las posibles mejoras a implantar con el fin de mejorar dicha eficiencia.

El proceso de certificación energética concluye con la emisión de un certificado de eficiencia energética y la asignación de una etiqueta energética. La escala de calificación energética es de siete letras y varía entre las letras A (edificio más eficiente energéticamente) y G (edificio menos eficiente energéticamente), según el consumo de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> comparadas con un edificio base de tipología y localización similares.

El caso que nos ocupa es un bloque de viviendas existente. De entre los diferentes procedimientos promovidos por el *Ministerio de Industria, Energía y Turismo* a través del *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)* [7] para realizar la calificación, se ha escogido utilizar el procedimiento simplificado a través del programa CE<sup>3</sup>X.

Dicho programa se basa en la comparación entre el edificio que se quiere calificar y una base de datos elaborada para cada una de las ciudades representativas de las zonas climáticas. Una vez introducidos los datos del edificio, el programa parametriza sus variables y las compara con las de la base de datos. El software busca las simulaciones con las características más similares a las del edificio introducido e interpola respecto a ellas las demandas de climatización para obtener así las demandas del edificio introducido.

En función del grado de conocimiento de las características del edificio, el procedimiento CE<sup>3</sup>X establece tres niveles distintos de introducción de datos:

- **Valores por defecto:** Utilizados para aquellos edificios de los cuales se desconocen las características térmicas de los cerramientos y demás parámetros que afecten a la eficiencia energética del edificio. Son valores conservadores, basados en la normativa térmica vigente durante el desarrollo del proyecto constructivo del edificio.

- **Valores estimados:** Se deducen de un valor conocido o justificado (por ejemplo, el aislante térmico del cerramiento) y otros valores conservadores definidos a partir de las características del elemento en cuestión.
- **Valores conocidos:** Se obtienen directamente de ensayos, pruebas de cerramientos, el proyecto constructivo o cualquier otro documento que justifique el parámetro solicitado.

## 5.2. Datos generales del edificio y viviendas

El objeto de este proyecto es un edificio de viviendas situado en el municipio de Sant Boi de Llobregat, provincia de Barcelona. Este municipio está situado aproximadamente a 30 metros sobre el nivel del mar, en la comarca del Bajo Llobregat y pertenece a las zonas climáticas C2 y II.

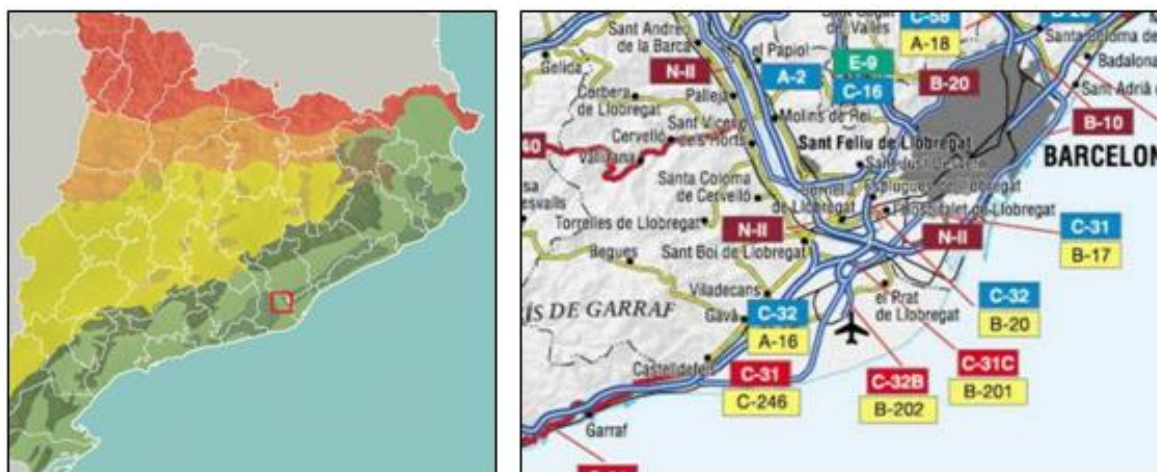


Figura 5.1 (De izquierda a derecha) Situación y mapa topográfico donde se muestra el municipio de Sant Boi de Llobregat.

El edificio tiene una orientación de 7º Sureste y se encuentra entre otros dos edificios, por lo que las únicas fachadas que se encuentran en contacto con el aire libre son la norte y la sur. La entrada principal se encuentra en la fachada norte del edificio y la única vivienda que dispone de entrada en la fachada sur y jardín propio se encuentra en la planta baja.

El edificio consta de 5 plantas, la planta baja dispone de un local comercial y un piso habitable con una disposición del espacio diferente a las demás viviendas. Las 4 plantas siguientes (Principal, Primera, Segunda y Ático) están compuestas por cuatro pisos por planta con una disposición del espacio similar en todas las viviendas, contando con 2 o 3 dormitorios, un comedor, cocina y baño.



*Figura 5.2 Ortofotografía con el bloque señalado en rojo*



*Figura 5.3 (De izquierda a derecha) Fotografía de las fachadas norte y sur del edificio*

### **5.3. Datos técnicos del edificio y viviendas**

La composición de los materiales de los cierres del edificio es un factor clave a la hora de calificar su eficiencia energética, esta información nos permite conocer el grado de energía que se transmite a través de dichos cierres y por tanto la cantidad de energía necesaria para asegurar una buena calidad del ambiente interior.

#### **5.3.1. Cubierta**

Como se suele dar en esta clase de edificios, la cubierta es plana y descubierta, dispuesta para poder andar sobre ella o instalar los equipos que se requieran.

### 5.3.2. Muros exteriores

A continuación se dispone de una tabla resumen de todos los cerramientos opacos de los que dispone el bloque y sus características:

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
Cubierta	Cubierta	267	2,5	Por defecto
Fachada Norte	Fachada	238	3	Por defecto
Fachada Sur	Fachada	238	3	Por defecto
Fachada Patio N.	Fachada	84	3	Por defecto
Fachada Patio S.	Fachada	84	3	Por defecto
Fachada Patio E.	Fachada	84	3	Por defecto
Fachada Patio O.	Fachada	42	3	Por defecto
Medianera Este	Medianería	219,8	0	Por defecto
Medianera Oeste	Medianería	219,8	0	Por defecto
Suelo	Partición interior	157	2,17	Por defecto
Suelo Parking	Partición interior	110	2,17	Por defecto

*Tabla 5.1 Resumen de las características de los cerramientos del edificio*

### 5.3.3. Vidrios

Como se puede observar en las fotos de las fachadas norte y sur (fig. 5.3), el edificio dispone de varias ventanas y balconeras en todos los pisos. Los pisos orientados hacia el norte disponen de una balconera y dos ventanas de distinto tamaño, a excepción del piso principal que cuenta con un ventanal en lugar de una balconera. Los pisos orientados hacia el sur disponen todos de una balconera y dos ventanas de igual tamaño, menos el piso

situado en los bajos que tiene una superficie mayor que los demás pisos y dispone de cuatro ventanas del mismo tamaño y un ventanal de superficie mayor que los balcones. La mayoría de ventanas tienen vidrio doble y cerramientos metálicos de color blanco con rotura de puente térmico.

La distribución de las ventanas y los balcones es la siguiente:

Situación	Orientación	Tipo	Número	Superficie total (m <sup>2</sup> )
Bajos	Sur	Ventana	4	6
		Ventanal	1	11,76
Ppal.	Norte	Ventana 1	2	3
		Ventana 2	2	4,2
		Ventanal	2	8,7
	Sur	Ventana	4	6
		Balcón	2	12,6
1ª planta	Norte	Ventana 1	2	3
Ventana 2		2	4,2	
2ª planta		Balcón	2	12,6
Ático	Sur	Ventana	4	6
		Balcón	2	12,6

*Tabla 5.2 Distribución de las ventanas y balcones del edificio*

#### 5.3.4. Suelos

Teniendo en cuenta la disposición de los pisos y la existencia de un local comercial en la planta baja, el suelo a considerar pertenece a las dos primeras plantas. Por una parte se tiene el suelo del piso de la planta baja, con una superficie de 110 m<sup>2</sup> en contacto con el parking que se encuentra debajo del edificio, y por otra parte, el suelo del piso principal con una superficie de 157 m<sup>2</sup> que se encuentra encima del local comercial, considerado como superficie no habitable. Las propiedades térmicas se han obtenido por defecto.

### 5.3.5. Instalaciones

A continuación se tiene un resumen del conjunto de instalaciones de las que dispone el edificio en la actualidad para cubrir las necesidades de calefacción, agua caliente sanitaria y refrigeración:

	Generador	Combustible	Rendimiento medio	Demanda cubierta	Potencia
<b>ACS</b>	Caldera estándar	Gas Natural	50,10%	82%	22 kW
			50,60%	12%	24 kW
<b>ACS acumulador</b>	Efecto Joule	Electricidad	90%	6%	
<b>Calefacción</b>	Caldera estándar	Gas Natural	50,60%	12%	24 kW
<b>Refrigeración</b>	Máquina frigorífica	Electricidad	93%	30%	

Tabla 5.3 Conjunto de instalaciones del edificio y sus características

Como se puede observar, la demanda de agua caliente sanitaria está cubierta en su totalidad, mientras que las demandas de calefacción y refrigeración no lo están, esto es debido a que se tiene en cuenta la superficie cubierta por la producción tanto de calefacción como de refrigeración y no todas las habitaciones ni todos los pisos disponen de dichas instalaciones.

## 5.4. Calificación energética del edificio

Una vez introducidas todas las características del bloque de viviendas en el programa CE<sub>3</sub>X, los principales resultados obtenidos son los siguientes:

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES	
<div><div>&lt; 5.4 A</div><div>5.4-8.7 B</div><div>8.7-13.5 C</div><div>13.5-20.7 D</div><div>20.7-40.8 E</div><div>40.8-47.7 F</div><div>≥ 47.7 G</div></div>	<div>42.26 F</div>	CALEFACCIÓN	
		ACS	
		F	G
		Emisiones calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]	Emisiones ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]
		34.09	5.95
		REFRIGERACIÓN	
ILUMINACIÓN			
		D	-
Emisiones globales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]		Emisiones refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]	Emisiones iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]
42.26		2.21	-

Tabla 5.4 Calificación energética global del edificio

Como se puede observar en la tabla 5.4, el indicador global califica al edificio con la letra F, lo cual es indicativo del amplio porcentaje de mejora que es posible realizar.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	88.52 F		4.64 C
Demanda global de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> año]		Demanda global de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> año]	
88.52		4.64	

Tabla 5.5 Calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
		CALEFACCIÓN		ACS	
		E		G	
		Energía primaria calefacción [kWh/m <sup>2</sup> año]		Energía primaria ACS [kWh/m <sup>2</sup> año]	
		133.38		28.92	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		D			
Consumo global de energía primaria [kWh/m <sup>2</sup> año]		Energía primaria refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> año]		Energía primaria iluminación [kWh/m <sup>2</sup> año]	
171.18		8.89		-	

Tabla 5.6 Calificación parcial del consumo de energía primaria

El programa nos proporciona unos datos sobre la demanda energética por m<sup>2</sup> de calefacción, ACS y refrigeración, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a dichos consumos. Cabe destacar que estos datos son fruto de unos cálculos aproximados en base a la situación del edificio y a la superficie útil habitable, por lo tanto, nos sirven como base para plantear las posibles soluciones que se quieran llevar a cabo y posteriormente para la comparación entre la situación actual y la hipotética instalación de dichas soluciones, pero no se tomarán como datos reales definitivos y se tendrán en cuenta otros métodos de cálculo de la demanda, como los contenidos en el *Código Técnico de la Edificación*.





## 6. Diseño de las soluciones de mejora

### 6.1. Introducción

La eficiencia energética tiene como uno de sus objetivos la reducción del consumo de energía, ya que supone un uso consciente y responsable de dicha energía. Dicho objetivo engloba varios aspectos, ya que la reducción del consumo de energía no sólo deriva en un ahorro en la factura, sino que también supone una mejora en la sostenibilidad del planeta.

Una vez se ha evaluado la eficiencia energética del edificio, se observa que hay un gran potencial de mejora. Las posibles soluciones se pueden diferenciar en dos grandes tipos:

- Soluciones **pasivas**: son aquellas que tienen como objetivo minimizar el uso de los sistemas de calefacción y refrigeración. Principalmente actúan sobre la envolvente del edificio.
- Soluciones **activas**: son aquellas que inciden en las instalaciones de climatización y en la producción de energía.

Este proyecto centra sus esfuerzos en diseñar una solución activa basada en el uso de diferentes energías renovables que permita cubrir gran parte de la demanda actual de climatización y agua caliente sanitaria.

La parte principal de la solución activa que se ha pensado consiste en la instalación de bombas de calor de aerotermia en cada uno de los pisos, con la cual se reduce el consumo eléctrico en más del 60% para la producción de agua caliente sanitaria. Por otro lado, se ha pensado en la posibilidad de incorporar una instalación solar fotovoltaica que aportaría gran parte de la electricidad consumida por las bombas, o una instalación solar térmica que aportaría gran parte del calor necesario disminuyendo así el consumo eléctrico de las bombas.

Por otro lado, se pretende diseñar una instalación solar fotovoltaica que cubra el consumo de porteros automáticos, antena de televisión comunitaria y la iluminación en las zonas comunes del edificio.

### 6.1.1. ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En un semiconductor expuesto a la luz, un fotón de energía arranca un electrón, creando a la vez un «hueco» en el átomo excitado. Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, por tanto, se disipa en forma de calor. El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse en él: así, se producirá una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material.

En principio, se ha pensado en una instalación solar que no retorne energía a la red, es decir, toda la energía suministrada por los paneles o se consumiría al instante o se acumularía en baterías para su posterior consumo.

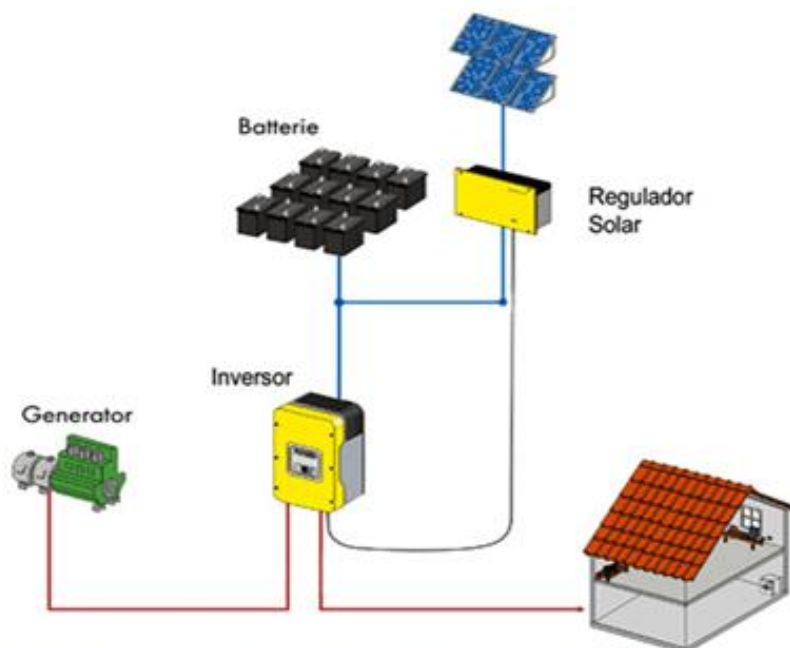


Figura 6.1 Esquema de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red

### 6.1.2. ¿Qué es la energía solar térmica?

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de calor, generalmente agua o aire.

Los colectores de energía solar térmica se clasifican como colectores de baja, media y alta temperatura dependiendo de su forma de trabajar:

- **Alta temperatura:** Aquellos colectores solares que trabajan a temperaturas superiores a los 500°C. Se usan para la generación de energía eléctrica. Las tecnologías utilizadas son captadores cilindro-parabólicos, centrales de torre, discos parabólicos y receptores lineales de Fresnel.
- **Media temperatura:** Se utilizan principalmente para aplicaciones que demanden energía térmica, es decir, calor de entre 125° C y 400° C. Se tienen los colectores de vacío y los de superficie cilíndrica-parabólica.
- **Baja temperatura:** Aquellas instalaciones que proveen un calor útil a temperaturas menores a 65°C. Se utilizan los captadores solares de placa plana y los de tubos de vacío.



*Figura 6.2 (De izquierda a derecha) Instalaciones solares de alta, media y baja temperatura*

En este caso se trata de una instalación solar de baja temperatura, que se puede dividir en tres elementos principales. En primer lugar, un campo de colectores solares encargados de captar los rayos solares y absorber la energía en forma de calor. En segundo lugar, un circuito primario por el que circula el refrigerante encargado de transportar el calor absorbido en los colectores. Por último, un circuito secundario de agua que recibe esa energía mediante un intercambiador de calor con su correspondiente acumulación.

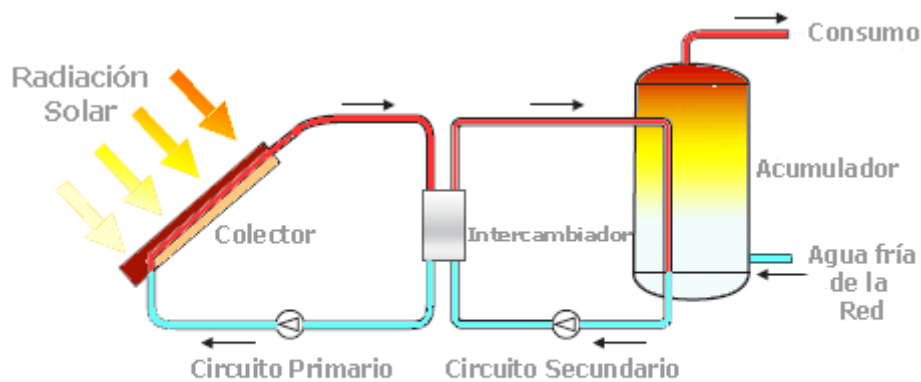


Figura 6.3 Esquema de una instalación solar térmica con intercambiador externo

### 6.1.3. ¿Qué es la energía aerotérmica?

La aerotermia consiste en el aprovechamiento de la energía contenida en el aire que nos rodea. Las bombas de calor aerotérmicas utilizan como fuente energética el aire exterior. A partir de esta energía, la bomba de calor, mediante un ciclo termodinámico, consigue alcanzar la temperatura necesaria para obtener calefacción y agua caliente sanitaria. Todo ello con un bajo consumo eléctrico.

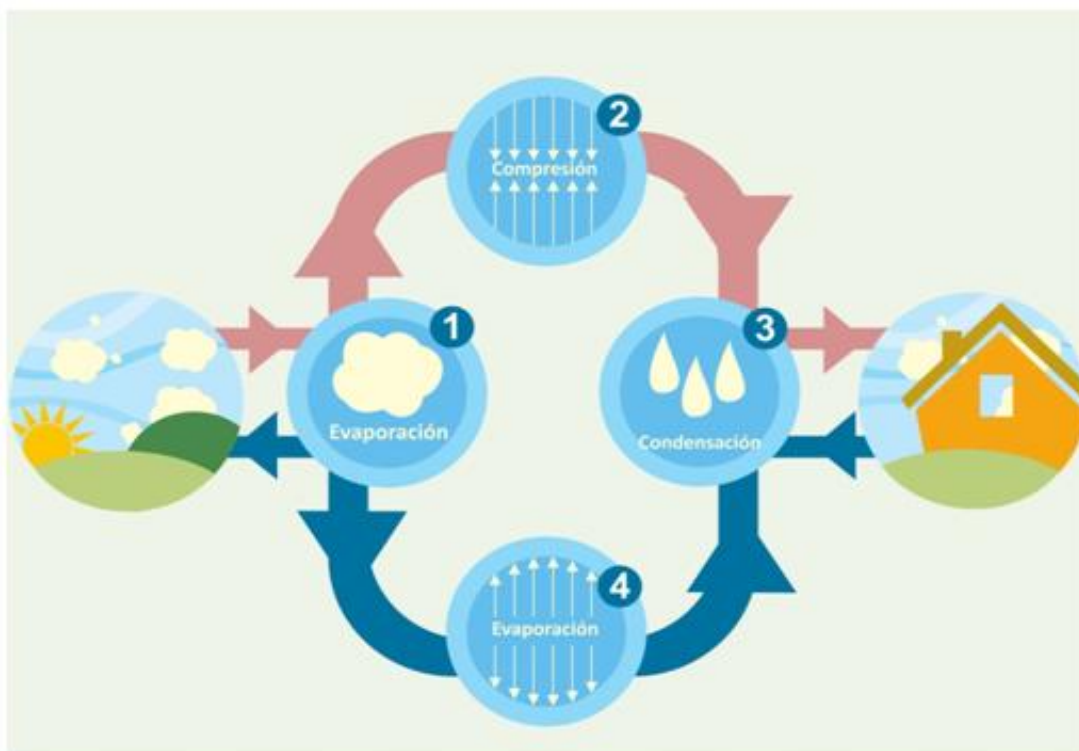


Figura 6.4 Esquema de los procesos de una instalación de aerotermia

La bomba de calor de aerotermia está formada por un compresor, una válvula de expansión y dos intercambiadores de calor: el evaporador y el condensador.

- En el evaporador se produce un intercambio entre la energía obtenida del aire exterior y el refrigerante que se encuentra en su interior, que pasa de estado líquido a estado gaseoso.
- El refrigerante evaporado pasa al compresor. Accionado por un motor eléctrico, y mediante un proceso de compresión, el compresor logra elevar la temperatura del refrigerante.
- El gas comprimido llega al condensador, donde pasa nuevamente a estado líquido. Durante este proceso de condensación se produce una cesión energética del refrigerante al circuito hidráulico, con lo que se libera la energía necesaria para cubrir las necesidades de calefacción y ACS de la vivienda.
- El refrigerante pasa a la válvula de expansión, que reduce su presión y temperatura y lo pasa al evaporador en las condiciones óptimas para que se reinicie el proceso.

Las bombas de calor aerotérmicas que se encuentran actualmente en el mercado acostumbran a presentar valores de COP (Coefficient of Performance) superiores a 3. Dicho coeficiente significa que por cada kWh de energía eléctrica consumida, la bomba proporciona más de 3 kWh térmicos.

Pero dichos valores de COP no son inherentes al equipo aerotérmico sino que también dependen del uso de dicho equipo y consecuentemente de la tecnología utilizada para calefactar. Es decir, si se utiliza suelo radiante como método de calefacción se tienen unos valores de COP notablemente superiores que en el caso de utilizar radiadores de baja temperatura, ya que la temperatura del agua necesaria es inferior en el caso del suelo radiante.

De todas formas, teniendo en cuenta las instalaciones de las que dispone el edificio y el coste que supondría una instalación de suelo radiante, no se plantea la posibilidad de realizar dicha instalación.

## 6.2. Diseño de las bombas de calor de aerotermia

Como viene explicado en el Anexo B.1.3, se tiene una demanda de referencia de agua caliente sanitaria de 28 litros por persona y día. Para calcular la demanda total hay que tener en cuenta el número de personas que viven en cada piso y dicho valor viene dado por el número de habitaciones de las que dispone. En el edificio de estudio hay dos tipos de piso, los que tienen tres dormitorios y los que disponen de dos dormitorios solamente, por lo que se cuentan 4 y 3 personas por piso respectivamente. Haciendo los cálculos tenemos una demanda de ACS de 112 litros para los pisos de 4 personas y de 84 litros para los pisos de 3 personas.

Se han escogido bombas de calor de la casa ARISTON para ambos tipos de vivienda pero con distintas capacidades teniendo en cuenta la diferencia en la demanda. Para el piso de menor demanda se instalará la bomba de calor “NUOS EVO 110” y para el piso con mayor demanda se instalará la “NUOS PRIMO 200”. A continuación se tienen las principales características de cada bomba:



NUOS EVO 110	
Capacidad nominal	110 l
Potencia eléctrica absorbida	250 W
COP aire a 9 °C	2,7
COP aire a 14 °C	3
Temperatura máx. Bomba	55 °C
Potencia resistencia	1200 W
Peso neto	55 kg

*Figura 6.5 Imagen y características de la bomba “NUOS EVO 110”*



<b>NUOS PRIMO 200</b>	
Capacidad nominal	200 l
Potencia eléctrica absorbida	500 W
COP aire a 9 °C	3
COP aire a 14 °C	3,5
Temperatura máx. Bomba	55 °C
Potencia resistencia	2000 W
Peso neto	87 kg

*Figura 6.6 Imagen y características de la bomba "NUOS PRIMO 200"*

Debido al elevado COP de ambas bombas de calor, su instalación supone un gran ahorro en la obtención de agua caliente sanitaria y en calefacción, en caso de que el piso disponga de una caldera de gas y de una instalación de calefacción. A partir de los cálculos realizados en el Anexo C, se tienen los siguientes datos de cada una de las bombas:

	<b>NUOS EVO 110</b>	<b>NUOS PRIMO 200</b>
Capacidad nominal (litros)	110	200
Demanda media (kWh/día)	5,468	9,942
Consumo eléctrico (kWh/día)	1,744	2,753
Ahorro medio (%)	68,3	72,5

*Tabla 6.1 Ahorro medio gracias a la instalación de cada bomba de calor*

Para ambos tipos de bombas de calor hay que tener en cuenta que el pico de arranque del compresor es de un 140 % de la potencia nominal, por lo que en el caso de la "EVO 110"

sería de 350 W y en el caso de la “PRIMO 200” sería de 700 W. Dicho pico de arranque se debe de tener en cuenta a la hora de escoger el inversor adecuado para cada alimentación.

### 6.3. Diseño de la instalación solar fotovoltaica

#### 6.3.1. Sistema de captación

Como se puede observar en el Anexo D.1, para la alimentación de las bombas de calor de aerotermia se requiere una placa solar fotovoltaica de 250 W para cada una de las 6 bombas de menor capacidad y dos placas solares de 250 W por placa para cada una de las 11 bombas de mayor capacidad. Para el segundo caso se conectarán las placas en paralelo elevando así la intensidad en lugar de la tensión, de esta manera se podrá utilizar un inversor que trabaje a 24 V, el cual tiene un precio muy inferior a los inversores que trabajan a 48 V. En total se tendrán 28 paneles solares para la producción de electricidad.

Para este caso se ha escogido la placa solar *Ecosolar* de 250 W, las características de la cual son las siguientes:

Potencia nominal - $P_{mp}$ (W <sub>p</sub> )	250	Largo (mm)	1640
Voltaje nominal - $V_{mp}$ (V)	30,50	Ancho (mm)	992
Intensidad nominal - $I_{mp}$ (A)	8,20	Grosor (mm)	40
Voltaje en circuito abierto - $V_{oc}$ (V)	37,20	Número de células	60
Intensidad de cortocircuito - $I_{sc}$ (A)	8,79	Peso (kg)	18,5

*Tabla 6.2 Características del panel solar Ecosolar de 250 W*

Los paneles solares se dispondrán por una parte en dos filas de 10 captadores colocados en el suelo de la cubierta con una inclinación de 45° respecto la horizontal. Para ambas filas se utilizarán 10 estructuras capaces de soportar dos paneles cada una con la inclinación deseada. Utilizando el mismo tipo de estructura se instalarán los 8 paneles restantes en el techo central de la cubierta, todos con una inclinación de 45° y orientados hacia el sur.



### 6.3.2. Sistema de transformación

Dado que para la alimentación de las bombas de calor de aerotermia es necesario disponer de la energía en forma de corriente alterna, se necesita un inversor para transformar la corriente continua generada por los paneles solares.

Con tal de reducir el gasto de la instalación, es preferible invertir en un inversor de mayor calidad que pueda trabajar en el rango de tensiones que producen los paneles solares y que cuente con protecciones contra sobrecargas y sobretensiones, de esta manera no es necesario la incorporación de un regulador de tensión antes del inversor.

Se ha pensado en varias opciones a la hora de escoger el inversor adecuado. Por un lado, la mínima potencia para un inversor que trabaje en el rango de tensiones establecido es de 600 W, por lo que se deberían agrupar todos los paneles en conjuntos de dos. Por otro lado, se ha pensando en la posibilidad de utilizar inversores de 1000 W de potencia con lo que podríamos conectar los paneles en conjuntos de 4 y reducir el número de inversores. A continuación se muestra una tabla con unos cálculos previos sobre la sección mínima del cable que sería necesaria:

<b>Fotovoltaica para bombas de aerotermia</b>			
<b>500 W</b>		<b>1000 W</b>	
placa - inversor		placa - inversor	
$I_{CC}$ (A)	17,58	$I_{CC}$ (A)	35,16
L (m)	15	L (m)	15
U (V)	30,5	U (V)	30,5
$\Delta U$ (V) (4%)	1,22	$\Delta U$ (V) (4%)	1,22
<b>S (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>8,03</b>	<b>S (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>18,74</b>

Tabla 6.3 Sección mínima de cable para los dos inversores posibles

Teniendo en cuenta la distribución de los paneles en la cubierta, es difícil conectar los paneles entre sí en conjuntos de 4, además que la sección mínima del cable para la instalación de 1000 W aumenta considerablemente. Por lo tanto, se ha decidido realizar la instalación con 14 inversores de 600 W de potencia cada uno y a la salida de los inversores se realizarán las reparticiones que sean oportunas para la alimentación de cada bomba.

A continuación se tiene una imagen del inversor y un resumen de sus principales características:



Figura 6.7 Imagen del inversor HQ

Tensión de entrada:	21,4 – 33 V	Eficiencia:	$\geq 85 \%$
Tensión de salida:	230 V $\pm 3 \%$	Potencia pico de salida:	1000 W
Potencia de salida:	600 W	Tamaño:	280x236x83 mm
Frecuencia de salida:	50 Hz $\pm 3$ Hz	Peso:	2,46 kg

Tabla 6.4 Características del inversor HQ

Cada inversor alimentará dos bombas “NUOS EVO 110” o una bomba “NUOS PRIMO 200”. Dado que el inversor tiene una potencia pico de salida de 1000 W, será capaz de soportar los picos de arranque tanto de las dos bombas de menor potencia como de la bomba de mayor potencia, ambos conjuntos con un pico total de 700 W.

### 6.3.3. Sistema de distribución

A continuación se tiene un resumen de los distintos tramos de cableado necesario para llevar la energía producida en los paneles solares a los puntos de consumo:

Tramo	Longitud máxima	Sección
Placas - Inversor	15 m	10 mm <sup>2</sup>
Inversor - Cuadro general	5 m	2,5 mm <sup>2</sup>
Cuadro general - Toma de corriente	20 m	2,5 mm <sup>2</sup>

Tabla 6.5 Sección del cable para cada tramo de la instalación

#### 6.3.4. Protecciones

Para el primer tramo, en corriente continua, hay que tener en cuenta que el inversor dispone de protecciones contra sobretensiones y sobrecargas. De todas formas, se instalará un fusible de intensidad nominal,  $I_N$ , de 20 A, dado que la intensidad de cortocircuito de las placas es de 17,58 A y el inversor es capaz de soportar hasta una intensidad de 40 A. Además se instalarán varistores para proteger la instalación de las posibles sobretensiones debidas a descargas atmosféricas.

Para los tramos entre el inversor y la alimentación de las bombas de 250 W se instalará un interruptor magnetotérmico de 2 A, teniendo en cuenta que la intensidad nominal de trabajo es de 1,08 A y que la intensidad del pico de arranque es de un 140% de la corriente nominal, es decir, 1,51 A. . Además se instalará un interruptor diferencial de 30 mA.

Para los tramos entre el inversor y las tomas de corriente que alimentarán a las bombas de 500 W se instalará un interruptor magnetotérmico de 4 A, teniendo en cuenta que la intensidad nominal de trabajo es de 2,17 A y que la intensidad del pico de arranque es de un 140% de la corriente nominal, es decir, 3,04 A. Además se instalará un interruptor diferencial de 30 mA.

#### 6.3.5. Monitorización

La monitorización de la instalación fotovoltaica permite, de una forma sencilla, conocer la cantidad de energía fotovoltaica consumida en todo momento. De esta manera, se prevé la instalación del registrador de datos inteligente “Solar-Log 300”, que es capaz de medir la corriente alterna y está equipado de una interfaz integrada que permite la conexión de hasta 6 inversores, por lo tanto para cubrir las 17 líneas de alimentación y la línea general de consumos comunes se necesitarán 3 registradores en total.



Figura 6.8 Imagen del registrador y su interfaz de datos

## 6.4. Diseño de la instalación solar fotovoltaica para consumos comunitarios

### 6.4.1. Energía eléctrica necesaria

El objetivo es realizar una instalación solar fotovoltaica para cubrir la demanda eléctrica común del bloque, es decir, el gasto de luz de la escalera, el consumo de comunicaciones internas (porteros automáticos, telefonillos y abre puertas) y el consumo de la antena de televisión. Teniendo en cuenta los cálculos realizados, se tiene un consumo común total diario de 1535,6 Wh, aunque la instalación se dimensiona para una demanda de 1800 Wh con una potencia máxima de 303 W (Ver Anexo B.1.1).

### 6.4.2. Sistema de captación

El elemento encargado de realizar la captación de la energía procedente del sol y transformarla directamente en energía eléctrica es el módulo fotovoltaico. De entre los diferentes tipos existentes en el mercado se ha optado por el tipo policristalino por presentar un mayor rendimiento y una mejor relación producción/precio.

Cogiendo como referencia la radiación del mes de diciembre, siendo éste el más desfavorable, se tienen 3,87 horas solares pico (Ver Anexo F.1). Teniendo en cuenta un rendimiento del 90 %, la potencia requerida sería de 516,8 W. Para el sistema de captación se ha escogido el panel “Ecosolar 260 W” debido a que sólo se necesitarían dos paneles para cubrir la demanda total, y a sus características, que son las siguientes:

Características eléctricas STC <sup>1</sup>		Características generales	
Potencia nominal - $P_{mp}$ (W <sub>p</sub> )	260	Largo (mm)	1640
Voltaje nominal - $V_{mp}$ (V)	31,25	Ancho (mm)	992
Intensidad nominal - $I_{mp}$ (A)	8,34	Grosor (mm)	40
Voltaje en circuito abierto - $V_{oc}$ (V)	37,92	Área (m <sup>2</sup> )	1,62
Intensidad de cortocircuito - $I_{sc}$ (A)	8,87	Peso (kg)	18,5

Tabla 6.6 Características de la placa solar Ecosolar de 260 W

<sup>1</sup> Standard Test Conditions: Radiación solar de 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de la célula fotovoltaica de 25°C y espectro solar de AM 1.5.

Se dispondrá de dos módulos conectados en paralelo y anclados a la pared, la cual está orientada al sur, al lado de la puerta de la cubierta. Dado que la altura de la pared es de 2,5 metros, se instalarán lo más alto posible con el fin de no obstaculizar la captación solar de la fila de paneles más cercana.

Los paneles se instalarán de esta manera ya que los paneles solares de la otra instalación ocupan toda la zona horizontal de la cubierta. Para su fijación se ha escogido una estructura de aluminio que permite anclar los paneles a la pared con la inclinación deseada de 45 grados. A continuación se tienen imágenes de las diferentes estructuras necesarias para la instalación de los paneles para ambas instalaciones:



*Figura 6.9 Imagen de la estructura para instalar placas solares en una superficie plana*



*Figura 6.10 Imagen de la estructura para instalar placas solares en la pared*

### 6.4.3. Sistema de acumulación

Dado que se trata de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red para autoconsumo, se necesita un campo de baterías para acumular el excedente de energía en los días de elevada radiación solar y para asegurar el funcionamiento de los diferentes elementos que alimenta en los días de baja radiación solar.

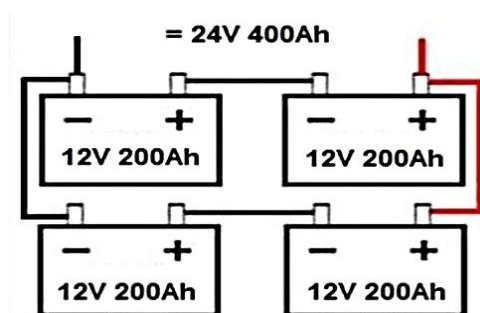
Para llevar a cabo dicha acumulación de energía se ha escogido la batería solar “U-Power AGM” de 250 Ah C100. Dado que se considera necesaria una autonomía mínima de 5 días, será necesario disponer de 4 baterías (Ver Anexo F.2). A continuación se muestran las principales características de las baterías:

Características funcionales		Características generales	
Voltaje - (V)	12	Largo - (mm)	518
Tipo de batería	AGM	Ancho - (mm)	274
Capacidad en C100 - (Ah)	250	Grosor - (mm)	242
Capacidad en C10 - (Ah)	200	Peso - (kg)	59
Profundidad de descarga - (%)	75	Sin mantenimiento	

*Tabla 6.7 Características de la batería solar U-Power AGM*

Teniendo en cuenta que la mayoría de consumo se realiza a una tensión de 24 V, se conectarán las 4 baterías en serie-paralelo, para así poder cargar las baterías y abastecer el consumo a 24 V.

A continuación se muestra un ejemplo de la conexión serie-paralelo:



*Figura 6.11 Ejemplo de conexión de las baterías en serie-paralelo*

#### 6.4.4. Regulador

Teniendo en cuenta no sólo que el voltaje de los paneles en el punto de máxima potencia (31,25 V) es superior al del conjunto de baterías (24V), sino también que dicho voltaje de los paneles no es constante, se necesita un regulador para asegurar un voltaje constante y una protección contra sobrecargas para tener una óptima carga de las baterías y alargar su vida útil.

Para llevar a cabo dicha protección y regulación se ha escogido el regulador “EcoSolar MPPT de 40 A”, el cual es capaz de reducir la tensión a la necesaria para la carga de las baterías a la vez que aumenta la corriente para mantener la potencia constante y no perder parte de la energía generada por los paneles.



Figura 6.12 Imagen del regulador MPPT

Las principales funcionalidades de las que dispone son las siguientes:

- Selección automática de tensión
- Regulación de tensión y corriente
- Carga mensual de mantenimiento
- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Protección contra sobretemperatura y sobrecarga
- Desconexión por sobretensión en la batería

#### 6.4.5. Sistema de transformación

Los módulos fotovoltaicos generan corriente continua, pero los equipos que se pretenden alimentar utilizan corriente alterna. El encargado de transformar la corriente es el inversor. Se ha escogido el inversor de onda pura HQ de 600 W, el mismo que se ha escogido para la alimentación de las bombas de calor de aerotermia.

Dado que la instalación está aislada de la red, dicho inversor no tiene porque cumplir ninguna exigencia legal ni requisito más allá de la mejor distribución posible para maximizar el rendimiento de la energía producida por los paneles y la protección de los diversos aparatos que alimenta. Dicho inversor dispone de:

- Alarma por baja tensión
- Protección de sobrecarga
- Protección de entrada de alto voltaje de CC
- Protección de cortocircuitos de salida
- Protección de polaridad de la batería
- Enfriamiento por ventilador
- Protección térmica

#### 6.4.6. Sistema de distribución

A continuación se tiene un resumen de los distintos tramos de cableado necesario para llevar la energía producida en los paneles solares a los puntos de consumo:

Tramo	Longitud	Sección
Placas - Regulador	< 10 m	10 mm <sup>2</sup>
Regulador - Baterías	< 5 m	10 mm <sup>2</sup>
Baterías - Inversor	< 1 m	10 mm <sup>2</sup>
Inversor - Cuadro general	< 5 m	2,5 mm <sup>2</sup>
Cuadro general - iluminación + porteros	< 20 m	2,5 mm <sup>2</sup>
Cuadro general - antena televisión	< 10 m	2,5 mm <sup>2</sup>

*Tabla 6.8 Sección del cable necesaria para cada tramo de la instalación*



### 6.4.7. Protecciones

Como primera protección en la parte de corriente continua de la instalación se colocará un fusible entre las placas solares y el regulador para evitar las sobreintensidades. Para este tramo de cableado se instalará un fusible con una intensidad nominal,  $I_N$ , de 20 A dado que la intensidad de cortocircuito es de 17,74 A y el conductor de 10 mm<sup>2</sup> de sección es capaz de soportar una intensidad de 44 A. Para la protección frente a posibles sobretensiones provocadas por descargas atmosféricas se instalará un varistor.

Además de dichas protecciones, se instalará un diodo de 45 A entre el regulador y las baterías para evitar la circulación en sentido contrario.

Por otra parte, también se colocará una protección entre las dos baterías conectadas en serie para reducir la potencia de cortocircuito en caso de que éste se produjera. Para eso se instalará un interruptor automático de dos polos. Según el tiempo de descarga de las baterías, la intensidad nominal puede variar entre 2,5 A y 20 A. Por otra parte, la intensidad de cortocircuito de una batería es de 3165 A. El interruptor automático deberá tener una intensidad nominal superior a 20 A y un poder de corte superior a la intensidad de cortocircuito. Teniendo en cuenta lo anterior, el interruptor elegido tendrá una intensidad nominal de 25 A y un poder de corte de 6000 A.

Para el tramo entre las baterías y el inversor también se instalará un interruptor automático para proteger el inversor de la elevada corriente de cortocircuito de las baterías. Como en el caso anterior, dicho interruptor deberá tener una corriente nominal superior a 40 A y un poder de corte superior a la intensidad de cortocircuito de las baterías. Teniendo en cuenta lo anterior, el interruptor elegido tendrá una intensidad nominal de 50 A y un poder de corte de 6000 A.

Para la parte de corriente alterna, en el caso de la línea que alimentará la iluminación común y los porteros automáticos, se instalará un interruptor magnetotérmico de 2 A, dado que la intensidad nominal de trabajo sería de 1,14 A y el cable de 2,5 mm<sup>2</sup> de sección es capaz de soportar hasta 18,5 A. Además del magnetotérmico, se instalará un interruptor diferencial de  $I_{\Delta N} = 30$  mA.

En el caso de la línea que alimentará la fuente de alimentación de la antena de televisión, se instalará un interruptor magnetotérmico de 1 A, dado que la intensidad nominal de

trabajo sería de 0,17 A y el cable de 2,5 mm<sup>2</sup> de sección es capaz de soportar hasta 18,5 A. Además del magnetotérmico, se instalará un interruptor diferencial de  $I_{\Delta N} = 30$  mA.

## 7. Análisis de las soluciones de mejora

### 7.1. Análisis técnico

Una vez diseñadas las soluciones de mejora, se procede a evaluar los resultados obtenidos de su hipotética implantación.

#### 7.1.1. Evaluación energética resultante

Una forma útil de comprobar el grado de mejora en la eficiencia energética del bloque es a través del resultado obtenido con el programa CE3X. Dado que los valores que se muestran en los resultados no son reales, no se tendrán en cuenta a la hora de hacer la valoración final pero sí que sirven para realizar una comparación entre la situación inicial y una vez se disponga de las instalaciones diseñadas en el proyecto.

A continuación se muestran los principales resultados que se encuentran en el Certificado de Eficiencia Energética expuesto en el Anexo A:

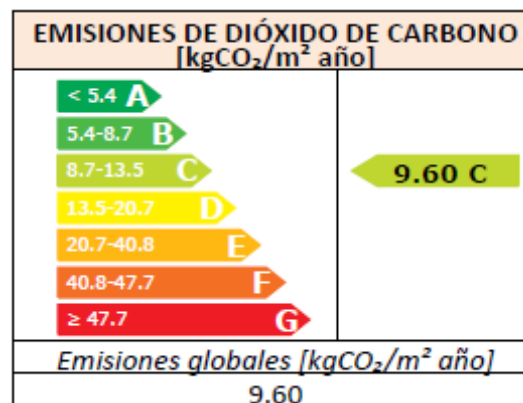


Figura 7.1 Indicador global de la calificación energética

Como se puede observar en la figura 7.1, la incorporación de bombas de calor de aerotermia y de placas solares fotovoltaicas de apoyo a dichas bombas supone una mejora de 3 letras en la escala de eficiencia energética, pasando de una valoración F a una valoración C.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN [kWh/m <sup>2</sup> año]		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN [kWh/m <sup>2</sup> año]	
< 6.2 A		< 2.3 A	
6.2-14.4 B		2.3-4.4 B	
14.4-26.0 C		4.4-7.4 C	4.64 C
26.0-43.6 D		7.4-11.9 D	
43.6-87.4 E		11.9-14.7 E	
87.4-95.3 F	88.52 F	14.7-18.0 F	
≥ 95.3 G		≥ 18.0 G	
Demanda global de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> año]		Demanda global de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> año]	
88.52		4.64	

Figura 7.2 Indicadores parciales de las demandas de calefacción y refrigeración

Como se puede observar en la figura anterior, las demandas de calefacción y refrigeración no han variado ya que se plantea una mejora de las instalaciones para la producción de ACS y no la mejora de la envolvente térmica del edificio por lo que las demandas quedan invariables.

A continuación se tiene un cuadro resumen del análisis técnico realizado con el programa CE3X donde se muestra la variación en la demanda, el consumo de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la calefacción, refrigeración y ACS:

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
Demanda [kWh/m² año]	88.52	F	4.64	C						
Diferencia con situación inicial	0.0 (0.0%)		0.0 (0.0%)							
Energía primaria [kWh/m² año]	51.31	D	8.89	D	1.19	A	-	-	61.39	D
Diferencia con situación inicial	82.1 (61.5%)		0.0 (0.0%)		27.7 (95.9%)		- (-%)		109.8 (64.1%)	
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /m² año]	13.22	D	2.21	D	0.29	A	-	-	9.60	C
Diferencia con situación inicial	20.9 (61.2%)		0.0 (0.0%)		5.7 (95.0%)		- (-%)		32.7 (77.3%)	

Figura 7.3 Análisis técnico realizado mediante el programa CE3X

A partir de los datos del análisis técnico se puede apreciar una reducción del 95 % tanto en consumo de energía primaria como en emisiones de CO<sub>2</sub> para la producción de ACS y también una reducción del 61 % en el consumo de energía primaria y de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la producción de calefacción ya que las calderas de gas partirán de un agua previamente calentada por las bombas de calor y la energía que deberán aportar será mucho menor.

### 7.1.2. Análisis técnico realista

Una vez verificada la amplia mejora de la eficiencia energética a través del programa CE3X, se procede a realizar un análisis técnico con los datos que se aproximan más al consumo real del edificio.

A continuación se muestra la situación inicial en cuanto al consumo de energía para la producción de ACS a través de las calderas de Gas Natural y acumuladores eléctricos de los que dispone actualmente el edificio:

<b>SITUACIÓN INICIAL</b>	
Demanda total anual ACS (kWh/año)	51872,419
Producción Gas Natural (94%) (kWh/año)	48760,073
Producción eléctrica (6%) (kWh/año)	3112,345
Emisiones CO <sub>2</sub> Gas Natural (kgCO <sub>2</sub> /año)	9830,03
Emisiones CO <sub>2</sub> Electricidad (kgCO <sub>2</sub> /año)	1198,25

Tabla 7.1 Situación actual de producción de ACS y emisiones de CO<sub>2</sub>

Actualmente la producción de ACS del edificio se divide entre un 94 % del total producido por calderas de gas y el otro 6 % a cargo de acumuladores eléctricos. Sabiendo la cantidad de energía producida con cada fuente se calculan sus respectivas emisiones de CO<sub>2</sub>. Se tienen un total de 11028,28 kg de CO<sub>2</sub> producidos al año.

A continuación se muestra el consumo de energía, la producción solar y las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales en caso de realizar la instalación de las bombas de calor y las placas solares fotovoltaicas:

<b>SITUACIÓN FINAL</b>	
Demanda total anual ACS (kWh/año)	51872,419
Energía eléctrica necesaria anual (kWh/año)	14855,673
Producción solar anual (kWh/año)	10722,638
Consumo eléctrico final anual (kWh/año)	4133,035
Emisiones CO <sub>2</sub> Electricidad (kgCO <sub>2</sub> /año)	1591,218

Tabla 7.2 Situación final de producción de ACS, producción solar y emisiones de CO<sub>2</sub>

Como se puede observar en la tabla 7.2, gracias a la instalación de las bombas de aerotermia se reduce la demanda eléctrica para la producción de ACS en un 71 %. Por parte de la instalación de placas solares fotovoltaicas se consigue producir un 72 % de la energía eléctrica necesaria, por lo que el conjunto de ambas instalaciones supone un ahorro total del 92 % de la energía necesaria para la producción de ACS. Gracias a la reducción de la energía eléctrica necesaria se consigue una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 85,5 %, pasando de 11028 kg a 1591 kg al año.

Por otro lado, se ha considerado interesante realizar el mismo análisis sobre la producción de calefacción a partir de la demanda definida por el programa CE3X. Según el programa se tendría una demanda de calefacción de 88,52 kWh/m<sup>2</sup> al año, por lo que contando con 1135 m<sup>2</sup> de superficie habitable se tendría una demanda total de 100470,2 kWh/año. Según las instalaciones actuales con las que cuenta el edificio, solo se cubre un 12 % de dicha demanda, por lo que el gasto anual en calefacción es de 12056,424 kWh.

A partir de las fórmulas utilizadas en el Anexo B.1.3 para el cálculo de la demanda energética para ACS y sabiendo que la temperatura necesaria para calefacción es de 75 °C y que la media de la temperatura del agua de la red en los meses en los que se utiliza la calefacción es de 10 °C, se tiene un volumen total de agua utilizada para calefacción de 159515,76 litros. En el caso de disponer de las bombas de calor de aerotermia, dichas bombas precalentarían el agua a una temperatura de 55 °C y las calderas de gas sólo tendrían que elevar la temperatura 20 °C hasta llegar a los 75 °C necesarios, con lo que consumirían mucho menos. A continuación se tiene un resumen de la situación actual y la situación final de consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la producción de calefacción:

<b>SITUACION INICIAL CALEFACCION</b>	
Demanda anual calefacción (kWh/m <sup>2</sup> ·año)	88,52
Superficie habitable (m <sup>2</sup> )	1135
Demanda anual calefacción total (kWh/año)	100470,2
Demanda anual cubierta (12 %) (kWh/año)	12056,424
Temperatura agua calefacción (°C)	75
Temperatura media agua red (°C)	10
Agua consumida en calefacción (L)	159515,76
Emisiones CO <sub>2</sub> Gas Natural (kgCO <sub>2</sub> /año)	2430,58

*Tabla 7.3 Situación inicial de producción de calefacción y emisiones de CO<sub>2</sub>*

<b>SITUACION FINAL CALEFACCION</b>	
Agua consumida en calefacción (L)	159515,76
Temperatura bomba calor (°C)	55
Temperatura media agua red (°C)	10
Energía necesaria para calentar el agua (kWh/año)	8346,755
Energía consumida por bomba (71% de ahorro) (kWh/año)	2420,559
Temperatura agua calefacción (°C)	75
Energía consumida por caldera gas (kWh/año)	3709,669
Emisiones CO <sub>2</sub> Electricidad (kgCO <sub>2</sub> /año)	931,92
Emisiones CO <sub>2</sub> Gas Natural (kgCO <sub>2</sub> /año)	747,87

*Tabla 7.4 Situación final de producción de calefacción y emisiones de CO<sub>2</sub>*

Como se puede observar en las tablas, el aprovechamiento de las bombas de calor de aerotermia para la producción de calefacción supone una gran reducción tanto de la energía necesaria como de la producción de CO<sub>2</sub>. En la situación final se necesita un total de 6130,228 kWh anuales, lo que supone un ahorro energético del 49,15 % respecto a los 12056,424 kWh anuales consumidos actualmente. En el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, en la situación final se tienen un total de 1679,78 kg emitidos, casi un 31 % menos que en la situación actual.

A continuación se tiene una tabla resumen del ahorro de energía y de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> contando con la instalación de las bombas de calor de aerotermia y las placas solares fotovoltaicas para producción de ACS y calefacción:

	<b>INICIO</b>	<b>FINAL</b>	<b>AHORRO TOTAL</b>
Energía total consumida (kWh/año)	63928,843	10263,263	83,95%
Emisiones totales de CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /año)	13458,86	3271	75,70%

*Tabla 7.5 Ahorro de energía y reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la producción de ACS y calefacción*

Para realizar los cálculos de las emisiones de CO<sub>2</sub> se han utilizado las siguientes equivalencias:

$$\text{Electricidad} \rightarrow 1 \text{ kWh} = 0,385 \text{ kgCO}_2$$

$$\text{Gas Natural} \rightarrow 1 \text{ kWh} = 0,2016 \text{ kgCO}_2$$

Por otro lado, se tiene la instalación solar fotovoltaica para consumos comunes. Teniendo en cuenta que el consumo diario de 1,535 kWh/día (Ver Anexo B.1.1) se consumía de la red eléctrica y ahora pasa a ser producido por los paneles solares, se tiene una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de 215,7 kg anuales. A continuación se tiene una tabla con los cálculos aproximados de producción de energía de la instalación, el consumo diario y el excedente:

	Irradiación (Wh/m <sup>2</sup> ·día)	HSP	Producción total (kWh/día)	Consumo (Wh/día)	Excedente (kWh/día)	Excedente (kWh/mes)
Enero	4120	4,12	1,639	1,535	0,104	3,203
Febrero	5040	5,04	2,005	1,535	0,470	13,141
Marzo	6090	6,09	2,423	1,535	0,888	27,497
Abril	5870	5,87	2,335	1,535	0,800	23,985
Mayo	6190	6,19	2,462	1,535	0,927	28,730
Junio	6410	6,41	2,550	1,535	1,015	30,429
Julio	6550	6,55	2,606	1,535	1,071	33,170
Agosto	6380	6,38	2,538	1,535	1,003	31,073
Septiembre	5870	5,87	2,335	1,535	0,800	23,985
Octubre	5240	5,24	2,084	1,535	0,549	17,015
Noviembre	4170	4,17	1,659	1,535	0,124	3,697
Diciembre	3870	3,87	1,539	1,535	0,004	0,120

*Tabla 7.6 Producción, consumo y excedente de la instalación solar para consumos comunes*

Dado que se tiene un excedente de energía en la producción solar para consumos comunes se ha pensado en la posibilidad de integrar un sistema de ventilación en la escalera para los meses de mayor producción para así aprovechar toda la energía producida. Se había planteado la posibilidad de instalar una línea individual para cada piso para aprovechar dicho excedente, pero dado que es muy reducido no sería posible alimentar a todos los pisos con el excedente del que se dispone. Por otra parte, el excedente total anual es de 236 kWh, contando con un precio aproximado de 0,12 €/kWh, si no se reaprovechara el excedente se tendría una pérdida de 28 euros anuales, por lo que en caso de no aprovechar el excedente, éste no supondría una gran pérdida económica y tampoco supondría ningún peligro para los paneles solares.



## 7.2. Análisis económico

Para realizar el análisis económico se tienen en cuenta todos los costes derivados de la inversión inicial, es decir, el presupuesto, así como el ahorro que supone llevar a cabo las instalaciones definidas en este proyecto.

### 7.2.1. Presupuesto de la instalación solar fotovoltaica para consumos comunes

La inversión necesaria para realizar dicha instalación se muestra a continuación:

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (€)	Coste (€)
Panel solar EcoSolar 260 W	Ud	2	245	490
Estructura para dos paneles	Ud	1	230	230
Batería solar U-Power AGM	Ud	4	299	1.196
Regulador MPPT 40 A 24 V	Ud	1	245	245
Inversor onda pura HQ 600 W	Ud	1	238	238
Cable 10 mm <sup>2</sup>	m	15	3,68	55,2
Cable 2,5 mm <sup>2</sup>	m	40	0,745	29,8
Bombilla LED 7 W	Ud	10	6	60
Ojo de buey LED 7 W	Ud	3	9	27
Tubo LED 10 W	Ud	1	10	10
Protecciones DC	Ud	1	13	13
Protecciones AC	Ud	1	24	24
Ingeniería	PA	1	300	300
Montaje y puesta en marcha	PA	1	500	500
<b>TOTAL</b>				<b>3.418</b>

*Tabla 7.7 Presupuesto desglosado de la instalación fotovoltaica para consumos comunes*

Como se puede observar en la tabla, no se ha tenido en cuenta el gasto de monitorización ya que se utilizará el mismo dispositivo que para la otra instalación y ya se tendrá en cuenta en su presupuesto.

La inversión total final para la instalación solar fotovoltaica para consumos comunes asciende a 3418 euros.

### 7.2.2. Presupuesto de la instalación de bombas de calor de aerotermia con apoyo de solar fotovoltaica

La inversión necesaria para realizar dicha instalación se muestra a continuación:

Descripción	Unidad	Cantidad	precio unitario (€)	Coste (€)
Bomba Ariston "NUOS EVO 110"	Ud	6	1528	9.168
Bomba Ariston "NUOS PRIMO 200"	Ud	11	2695,5	29.650,5
Panel solar EcoSolar 250 W	Ud	28	235	6.580
Estructura 2 paneles suelo y techo	Ud	11	230	2.530
Estructura 2 paneles pared	Ud	3	220	660
Inversor onda pura HQ 600 W	Ud	11	238	2.618
Cable 10 mm2	m	210	3,68	772,8
Cable 2,5 mm2	m	340	0,745	253,3
Protecciones tramo DC	Ud	14	10	140
Protecciones tramo AC "NUOS 110"	Ud	6	12	72
Protecciones tramo AC "NUOS 200"	Ud	11	12	132
Monitorización	Ud	3	505	1515
Ingeniería	PA	1	4000	4.000
Montaje y puesta en marcha	PA	1	2000	2.000
<b>TOTAL</b>				<b>60.091,6</b>

*Tabla 7.8 Presupuesto desglosado de la instalación fotovoltaica y bombas de aerotermia*

Como se puede observar en la tabla, la inversión total para realizar la instalación de las bombas de calor de aerotermia con apoyo de energía solar fotovoltaica asciende a 60091,6 euros.

Dicha inversión se podría dividir en dos partes, por un lado la instalación de las bombas de calor con un total de 38818,5 euros más el coste de instalación y por otro lado se tendría la parte de la instalación solar fotovoltaica con un total de 15273,1 euros más el coste de instalación, ambos costes sin contar el coste de ingeniería.

Es interesante tener ambas instalaciones en cuenta porque por una parte, con la instalación de las bombas de calor se consigue un 70 % de ahorro en la producción de ACS, pero por otra parte, con ambas instalaciones se consigue más de un 90 % de ahorro en la producción de ACS y al contar con energía solar se puede optar a las subvenciones que se detallan en el siguiente apartado.

### 7.2.3. Subvenciones

Con el fin de incentivar y promover la realización de actuaciones de reforma que favorezcan el ahorro energético, la mejora de la eficiencia energética, el aprovechamiento de las energías renovables y la reducción de emisiones de dióxido de carbono, en los edificios existentes, así como contribuir a alcanzar los objetivos establecidos en la Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética, y en el Plan de Acción 2014-2020, a la vez que se crearán oportunidades de crecimiento y empleo en distintos sectores económicos, en especial en el sector de la construcción, favoreciendo la regeneración urbana, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [7], pone en marcha un programa específico de ayudas y financiación, dotado con 200 millones de euros.

Las actuaciones deberán encuadrarse en una o más de las tipologías siguientes:

- Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación.
- Sustitución de energía convencional por biomasa en las instalaciones térmicas.
- Sustitución de energía convencional por energía geotérmica en las instalaciones térmicas.

Las actuaciones objeto de ayuda deben mejorar la calificación energética total del edificio en, al menos, 1 letra medida en la escala de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ ), con respecto a la calificación energética inicial del edificio.

Podrán ser beneficiarios de las ayudas de este Programa:

- Los propietarios de edificios existentes destinados a cualquier uso, bien sean personas físicas, o bien tengan personalidad jurídica de naturaleza privada o pública.
- Las comunidades de propietarios o las agrupaciones de comunidades de propietarios de edificios residenciales de uso vivienda, constituidas como Propiedad Horizontal.
- Los propietarios que de forma agrupada sean propietarios de edificios y no hubiesen otorgado el título constitutivo de propiedad horizontal.

Dado que en este caso se trata de una mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación, dicha instalación obtendría un mínimo del 20 % del coste total a modo de subvención del estado. Teniendo en cuenta una mejora de la calificación energética del edificio en más de dos letras y una monitorización de la producción de energía en tiempo real, dicha subvención podría alcanzar el 30 % o incluso el 50 % del coste total.

Por otro lado, se podría obtener un préstamo de hasta el 70 % del coste total de la instalación, con un interés del 0 % y con un plazo de amortización de hasta 12 años.

La combinación de ambas ayudas facilita mucho el llevar a cabo la instalación ya que reduce la inversión hasta un máximo del 80 % del coste total y gracias al préstamo no es necesario realizar un gran desembolso inicial.

#### 7.2.4. Análisis económico final

Sumando el presupuesto de ambas instalaciones se tiene un coste total de 63509,6 euros. Teniendo en cuenta una subvención mínima del 20 %, el coste total sería de 50807,7 euros gracias a una subvención de 12701,9 euros. Por otro lado, cabe la posibilidad de obtener un préstamo del 70 % del total de la inversión, es decir, 44456,7 euros a devolver en 12 años con un interés del 0 %. Por lo tanto, teniendo en cuenta ambas cosas, la inversión inicial a realizar por el propietario sería de 6351 euros, además de tener que pagar cada año 3704,7 euros durante los siguientes 12 años. A continuación se tiene una tabla resumen de los costes comentados:

Coste total de la instalación	63509,6 €
Subvención mínima (20 %)	12701,9 €
Coste total a pagar por el propietario	50807,7 €
Préstamo (70 %)	44456,7 €
Inversión inicial a pagar por el propietario	6351 €
Pago anual devolución del préstamo (12 años)	3704,7 €

*Tabla 7.9 Costes, subvenciones y préstamos para realizar la instalación*

Como está explicado anteriormente y queda expuesto en la tabla 7.9, tanto la subvención como el préstamo facilitan mucho el llevar a cabo la instalación ya que reducen la inversión inicial a pagar por el propietario del edificio de 63509 euros a 6351 euros, aparte de la devolución anual del préstamo.

### 7.2.5. Análisis de viabilidad económica

Aunque la finalidad del proyecto sea la de mejorar la eficiencia energética para reducir el consumo de energía y que la mayor parte de esa energía sea de fuentes renovables para así reducir al máximo las emisiones de CO<sub>2</sub>, cabe realizar un pequeño estudio de viabilidad económica para ver en cuánto tiempo se podría recuperar la inversión y que la instalación resulte rentable no sólo para el planeta sino también para el propietario del edificio.

Como se puede observar en el apartado 7.1.2, con la instalación de las bombas de calor de aerotermia y las placas solares fotovoltaicas se consigue un ahorro de 47739,384 kWh anuales para la producción de ACS. Teniendo en cuenta un precio de 0,12 €/kWh, dicha instalación supone un ahorro de 5728,73 euros anuales. En el mismo apartado 7.1.2 se puede observar que la instalación de las bombas de calor de aerotermia, sin tener en cuenta la aportación solar, supone un ahorro en la producción de calefacción de 5926,196 kWh anuales, lo que supone un ahorro de 711,15 euros anuales.

Por otra parte, para los consumos comunes se tiene contratada una potencia de 0,805 kW con un precio de 0,13126 €/kW·día. Como se puede observar en el Anexo B, el consumo comunitario es de 1536 Wh/día, con un precio de 0,1348 €/kWh. Teniendo en cuenta que la gracias a la instalación solar fotovoltaica no sólo se deja de consumir energía sino que ya no es necesario tener una potencia contratada, se tiene un ahorro de 114,25 € anuales.

Contando con dicho ahorro anual, la inversión inicial a realizar, el pago anual del préstamo durante los 12 siguientes años y teniendo en cuenta una tasa de interés anual del 8 % se realizan los cálculos necesarios para conocer la viabilidad económica de la instalación:

Año	0	1	2	3	4	5	6
<b>Inversión</b>	6350,9						
<b>Pago préstamo</b>		3704,7	3704,7	3704,7	3704,7	3704,7	3704,7
<b>Ahorro</b>		6554,1	6554,1	6554,1	6554,1	6554,1	6554,1
<b>Movimiento de fondos</b>	-6350,9	2849,4	2849,4	2849,4	2849,4	2849,4	2849,4
<b>Movimiento de fondos acumulados</b>	-6350,9	-3501,5	-652,2	2197,2	5046,6	7896	10745,4
<b>VAN (i=8 %)</b>	-6350,9	-3712,6	-1269,7	992,2	3086,6	5025,8	6821,4

Tabla 7.10 Movimiento de fondos y Valor Actualizado Neto de la inversión

Como se puede observar en la tabla anterior, se obtienen beneficios debidos al ahorro energético a partir del tercer año, es decir, se recupera la inversión inicial realizada por el propietario y a partir de este momento, aunque se tenga que pagar el préstamo durante 9 años más, cada año se obtendrían beneficios. De esta manera queda demostrada no sólo la viabilidad económica de la inversión sino también su rentabilidad.

#### **7.2.6. Mantenimiento**

Sin perjuicio de aquellas operaciones de mantenimiento derivadas de otras normativas, para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:

- Plan de vigilancia
- Plan de mantenimiento preventivo

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos, en el caso de la instalación solar fotovoltaica se trata de un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales (energía, tensión, estado de las baterías, etc.), además de la limpieza de los paneles si fuera necesaria.

El plan de mantenimiento preventivo de la instalación incluirá una visita anual en la que se realizarán, como mínimo, las siguientes actividades:

- Verificación del funcionamiento de todos los componentes y equipos
- Revisión del cableado, conexiones, pletinas, terminales, etc.
- Comprobación del estado de los módulos: situación respecto al proyecto original, limpieza y presencia de daños que afecten a la seguridad y protecciones
- Estructura soporte: revisión de daños en la estructura, deterioro por agentes ambientales, oxidación, etc.
- Baterías: nivel del electrolito, limpieza y engrasado de terminales, etc.

- Regulador de carga: caídas de tensión entre terminales, funcionamiento de indicadores, etc.
- Inversores: estado de indicadores y alarmas
- Caídas de tensión en el cableado de continua
- Verificación de los elementos de seguridad y protecciones: tomas de tierra, actuación de interruptores de seguridad, fusibles, etc.

En el caso de la monitorización, la empresa instaladora de la misma realizará una revisión cada seis meses, comprobando la calibración y limpieza de los medidores, funcionamiento y calibración del sistema de adquisición de datos, almacenamiento de los datos, etc.

### **7.3. Análisis medioambiental**

El impacto ambiental de este proyecto se puede analizar desde diferentes perspectivas. Por un lado, el propio impacto ambiental de la realización del proyecto y por otro lado, el impacto ambiental de una instalación solar fotovoltaica en la cubierta.

Respecto al impacto de la realización del proyecto en si mismo se pueden considerar los recursos consumidos en lo que respecta a consumo energético (luz, equipos informáticos, etc.) durante su desarrollo y los consumibles como papel y tinta. De todas formas, dicho consumo se considera como gastos del proyecto y no como impacto medioambiental. En todo caso es más interesante analizar el impacto medioambiental que supone realizar una instalación solar fotovoltaica en la cubierta y ver los beneficios que supone.

En primer lugar, la utilización de fuentes de energía renovables, como pueden ser la aerotermia o la fotovoltaica, reducen gran parte de la generación de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, los cuales se identifican como la principal causa del cambio climático. En este caso, como ya se ha visto en el apartado 7.1.2, la instalación de las bombas de calor de aerotermia alimentadas por las placas solares fotovoltaicas suponen una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 75,7 %, pasando de producir 13458,86 kg a producir 3271 kg al año debido al consumo de ACS y calefacción. Más allá de la reducción del consumo y la emisión de CO<sub>2</sub>, hay otros aspectos de la instalación que vale la pena comentar.

### *Fase de fabricación*

En el caso de las bombas de calor, su fabricación comporta el mismo impacto ambiental que la fabricación de cualquier termo eléctrico o caldera de gas, impacto ampliamente compensado por su alto rendimiento. En cambio, en el caso de las placas solares fotovoltaicas, este es su principal punto débil, debido a los recursos que se consumen durante su fabricación y el bajo rendimiento que presentan. No obstante, aunque sea un aspecto a mejorar, comparándolas con otros sistemas de generación de energía eléctrica, las ventajas que conllevan a lo largo de su vida útil compensan las posibles carencias en este aspecto.

### *Fase de construcción y periodo de vida útil*

Impacto sobre la atmósfera: En el caso de las bombas de aerotermia el impacto es nulo ya que su instalación es individual en el espacio que disponga cada piso en particular. En el caso de las placas solares, éstas se instalarán en la cubierta del edificio y dicha instalación no causa ninguna contaminación. Por lo que respecta al ruido, son los propios de la obra y se intentará minimizarlos lo máximo posible. En funcionamiento durante su vida útil no tienen ningún efecto nocivo sobre la atmósfera.

Impacto sobre tierras, vegetación, aguas y fauna: La instalación se encuentra en el interior y en la cubierta de un edificio existente, no causa ningún impacto sobre el entorno.

Impacto sobre el paisaje: La instalación solar supone un cambio en el paisaje al encontrarse en la cubierta del edificio pero ocupa ningún espacio nuevo sino que utiliza un espacio de un edificio ya existente por lo que su impacto no se puede considerar negativo.

Impacto socioeconómico: Las instalaciones de producción de energía fotovoltaica representan una descentralización de la producción energética. Dan un valor añadido a las edificaciones y posibilitan el obtener una financiación adicional, por lo que puede contribuir a mejorar el equilibrio territorial de un país a medio o largo plazo.

### *Fase de desmantelamiento de la instalación*

La vida útil de una instalación solar fotovoltaica se considera de 25 años, que son los años en los que produce con un rendimiento superior al 80%. No obstante, es difícil saber si dentro de 25 años la instalación será rentable para el marco legal que exista en



ese momento. En todo caso, transcurrido el periodo de vida útil, sea de 25 años o más, hay que proceder a desmontar la instalación. En el caso de los módulos, una parte de los fabricantes incluyen en el precio de venta del módulo un servicio de reciclaje pre-financiado, es decir, que es el propio fabricante quien se ocupará del reciclaje de los módulos. Por lo que respecta al resto de la instalación, habrá que desmantelarla de manera respetuosa con el medio ambiente y siguiendo las normativas legales del momento.



## Conclusiones

En la presente memoria y anexos se ha descrito la instalación de bombas de calor de aerotermia con apoyo de energía solar fotovoltaica con fines de uso personal. Esta instalación cumplirá con el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, así como las Normas Ordenanzas y medidas de seguridad que le sean de aplicación.

Previamente al diseño de la instalación solar fotovoltaica se ha tenido en cuenta la posibilidad de incorporar energía solar térmica, la cual se ha descartado debido al elevado exceso de energía producida en los periodos de menor necesidad y a su difícil reaprovechamiento debido a la naturaleza de ésta.

Existen, hoy en día, múltiples opciones posibles de integración de la energía solar fotovoltaica en un bloque de pisos. En este proyecto se han utilizado varias opciones para llevar a cabo la instalación de los módulos fotovoltaicos debido al espacio reducido del que se dispone.

Como principal conclusión, queda demostrado el gran ahorro que supone la integración de ambas tecnologías para la producción de ACS y como apoyo para la producción de calefacción. Dicho ahorro se traduce tanto en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> como en la disminución de la factura de la luz, por lo tanto queda demostrado que las instalaciones de energías renovables suponen una importante mejora del medio ambiente y ayudan a hacer un planeta más sostenible, y además resultan rentables para los usuarios, por lo que son una gran solución a tener en cuenta.

El objetivo principal del proyecto era la mejora de la eficiencia energética del bloque de viviendas, la cual se clasificaba con una letra "F" al empezar el proyecto y gracias a la realización del mismo obtiene una calificación "C". Dicha mejora está relacionada directamente a las reducciones de consumo de energía y de las emisiones de CO<sub>2</sub>.



## Agradecimientos

Me gustaría acabar este proyecto dedicando unas líneas a aquellas personas que me han ayudado a hacer posible su realización.

En primer lugar, a mi tío José Antonio López, que me ha ayudado en todo lo que estaba en sus manos y sin él no hubiese sido posible la realización de este proyecto.

A mi tutor, Ricard Bosch, por la atención y sus valiosos consejos.

A Félix Sala por brindarme la oportunidad de trabajar sobre un edificio físico y estar a mi disposición para cualquier consulta. A todas las personas que me han facilitado información y no han tenido reparo en reunirse conmigo para comentar diversos aspectos del proyecto.

Por último y más importante, gracias a mis padres. Sin ellos nada de esto hubiera sido posible. El esfuerzo que han hecho para traerme hasta aquí es incompensable y me han dado fuerzas para llevar a cabo este camino, no puedo decir nada más que gracias.



## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

- [1] BOE. *Directiva 93/76/CEE DEL CONSEJO de 13 de septiembre de 1993 relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.
- [2] BOE. *Directiva 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.
- [3] BOE. *Directiva 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- [4] BOE. *Directiva 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- [5] CTE. Código Técnico de la Edificación. *Documento Básico HE Ahorro de energía*.
- [6] RITE. *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios*.
- [7] IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. [<http://www.idae.es>, 16 de septiembre de 2015]
- [8] ICAEN. Institut Català d' energia. [<http://icaen.gencat.cat/ca/>, 5 de octubre de 2015]
- [9] BOE. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.

## Bibliografía complementaria

- WIKIPEDIA. Directiva de eficiencia energética en edificios.  
[[http://es.wikipedia.org/wiki/Directiva\\_de\\_eficiencia\\_energética\\_en\\_edificios](http://es.wikipedia.org/wiki/Directiva_de_eficiencia_energética_en_edificios), 10 de septiembre de 2015]
- AGENCIA ESTATAL. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. [<https://www.boe.es>, 14 de septiembre de 2015]
- SOLARTA. [<http://www.solarta.com>, 21 de septiembre de 2015]
- WIKIPEDIA. Energía Solar Fotovoltaica.  
[[https://es.wikipedia.org/wiki/Energía\\_solar\\_fotovoltaica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energía_solar_fotovoltaica), 1 de octubre de 2015]
- CLICK RENOVABLES. [<http://www.clickrenovables.com>, 7 de octubre de 2015]
- JRC. Photovoltaic Geographical Information System.  
[<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, 13 de octubre de 2015]
- ENERGÍA SOLAR. Energía Solar Térmica. [<http://solar-energia.net/energia-solar-termica>, 15 de octubre de 2015]
- DAMIA SOLAR. Material fotovoltaico. [<http://www.damiasolar.com>, 20 de octubre de 2015]



## ANEXOS